

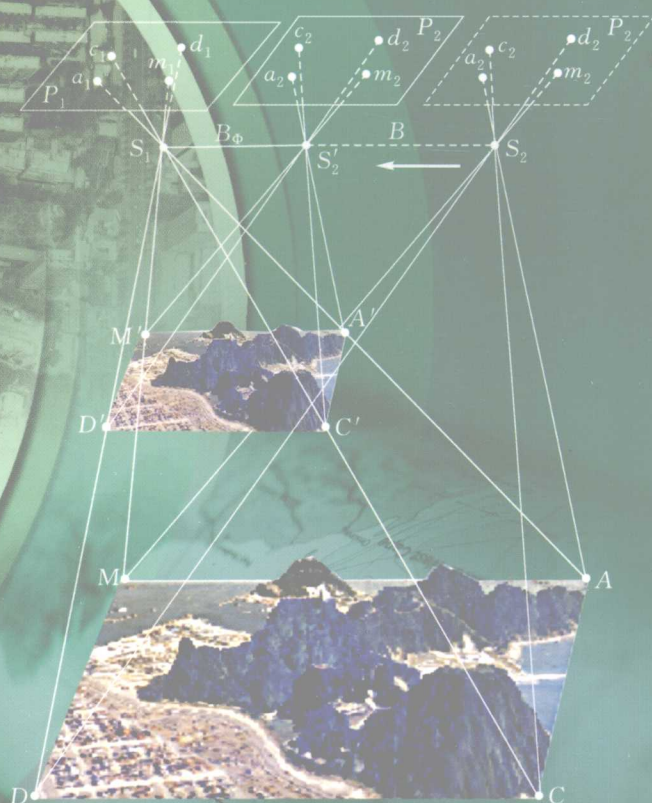


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

摄影测量学

PHOTOGRAMMETRY

张保明 龚志辉 郭海涛 编著



测绘出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

摄影测量学

Photogrammetry

张保明 龚志辉 郭海涛 编著

测绘出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要是根据“摄影测量学教学大纲”和“摄影测量学课程标准”编写的,为了兼顾各专业人员不同的学习需求,对其中部分内容进行了适当扩充。本书内容包括航空摄影、单张像片的解析基础、立体像对的基础知识、摄影测量作业理论、立体测图仪、数字摄影测量等。全面论述了摄影测量的基本概念、基本理论、主要技术和方法。

本书可作为测绘各专业大学本科的教材,也可供其他相关专业的师生、工程技术人员和研究

人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

摄影测量学/张保明,龚志辉,郭海涛编著. —北京:
测绘出版社,2008.8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5030-1860-2

I. 摄… II. ①张… ②龚… ③郭… III. 摄影测量—高等
学校—教材 IV. P23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 100565 号

责任编辑 贾晓林

封面设计 李 伟

出版发行 测绘出版社

社 址 北京西城区复外三里河路 50 号

电 话 010-68512386 68531558

印 刷 北京市通州次渠印刷厂

成品规格 184mm×260mm

字 数 245 千字

版 次 2008 年 8 月第 1 版

印 数 0001—4000

邮政编码 100045

网 址 www.sinomaps.com

经 销 新华书店

印 张 10

印 次 2008 年 8 月第 1 次印刷

定 价 22.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-1860-2/P·479

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

前 言

20 世纪 80 年代以来,摄影测量仪器、工艺与方法都发生了巨大变化,原有“摄影测量学”方面的教科书已无法满足教学和自学的需要。为了使“摄影测量学”教学适应 21 世纪现代教育理念,反映新世纪高等教育的特点,急需在原有教科书的基础上重新编写一本能够适应学科发展,反映当代摄影测量基本原理、方法与内涵的高水平的教材,为教师教学、学生和相关技术人员自主学习提供完整的教学方案。

本书主要是根据“摄影测量学教学大纲”和“摄影测量学课程标准”编写的,共分六章,内容包括:航空摄影、单张像片的解析基础、立体像对的基础知识、摄影测量作业理论、立体测图仪与立体坐标量测仪、数字摄影测量。前四章主要论述基础理论,后两章主要介绍仪器和技术方法。在各章后都附有一定量的思考题。全书重点突出,系统性强,插图丰富,易于阅读。

本书全面论述了摄影测量的基本概念、基本理论、技术和方法,在编写过程中,编者对编写内容进行多次研究并广泛征求了相关专家的意见。张保明主要负责第二章、第三章、第四章以及第五章和第六章部分内容的编写;龚志辉主要负责第五章以及第二章、第六章部分内容的编写;郭海涛主要负责第一章的编写。全书由张保明统稿,由龚志辉、郭海涛完成校对工作。

由于各院校和各专业的课程设置不同,使用本教科书的方法也不同。有的院校除开设有“摄影测量学”这门课程外,还开设有“航空摄影”、“摄影定位理论与方法”、“数字摄影测量学”3 门课程,这些师生在使用本书时,重点阅读单张像片的解析基础、立体像对的基础知识、立体测图仪与立体坐标量测仪和摄影测量作业理论前 5 节的内容,而航空摄影、数字摄影测量和摄影测量作业理论中的空中三角测量等内容可分别参阅“航空摄影”、“数字摄影测量学”和“摄影定位理论与方法”3 门课程的教材。

本书在编写过程中得到解放军信息工程大学测绘学院训练部和遥感信息工程系的大力支持。刘静宇教授为本书提供了许多技术帮助,总参信息技术总站刘炳印为本书提供了部分仪器的相片,沈阳军区测绘大队助理工程师初艳锋为本书绘制了全部插图,武汉大学袁修孝教授和朱肇光教授对本书进行了审稿并提出了许多宝贵的意见,上海同济大学陈映鹰教授和总参测绘研究所胡莘研究员对本书的编写也提出了许多好的建议。编者在此一并表示诚挚的感谢!

在本书的编写过程中,融入了编者长期以来在“摄影测量与遥感”的教学与科研实践中积累的经验,以期对读者有所帮助。

我们恳切希望使用本教材的教师和广大读者对本书提出宝贵意见,并对该课程内容的选择、深度和广度等方面提出建议,以便再版时修正。

编 者

2007 年 10 月

目 录

绪 论	1
第一章 航空摄影简介	4
§ 1-1 航空摄影	4
一、航空摄影的分类	4
二、航空摄影测量对航空像片及航空摄影的基本要求	4
§ 1-2 胶片型航摄相机	6
一、航摄仪的基本结构	6
二、对航摄仪的基本要求	7
§ 1-3 CCD 数字航摄相机	7
一、数字影像	7
二、ADS40 数字成像系统	8
三、DMC 数字相机	10
第二章 单张像片的解析基础	12
§ 2-1 中心投影	12
一、投影及其分类	12
二、中心投影的主要特征	13
三、透视变换中的特殊点、线、面	15
§ 2-2 航摄像片的内外方位元素	17
一、坐标系统的建立	17
二、像片的内外方位元素	18
§ 2-3 共线条件方程	21
一、点的坐标变换	21
二、共线条件方程式的建立	24
§ 2-4 旋转矩阵	26
一、用外方位角元素组成的旋转矩阵	26
二、利用 3 个独立的方向余弦构成旋转矩阵	30
§ 2-5 共线条件方程的一些实用形式	31
一、用外方位角元素表达方向余弦的共线条件方程	31
二、倾斜像片和水平像片相应像点的坐标关系	32
三、共线条件方程的一次项公式	33

四、透视变换中的简化共线条件方程	34
§ 2-6 航摄像片的比例尺	36
一、像点比例尺的概念和一般公式	37
二、特殊点、线的像比例尺	38
§ 2-7 因像片倾斜和地形起伏引起的像点移位	40
一、因像片倾斜引起的像点移位	40
二、因地形起伏引起的像点移位	41
§ 2-8 像点坐标的系统误差及其改正	43
一、像片的变形	44
二、摄影仪物镜的畸变差	44
三、大气折光差	45
四、地球曲率的影响	46
第三章 立体像对的基本知识	48
§ 3-1 立体像对概述	48
§ 3-2 立体像对的方位元素	50
一、像对的相对方位元素	50
二、像对的绝对方位元素	53
三、立体像对角方位元素之间的关系	54
§ 3-3 标准式像对	55
§ 3-4 像对的立体观察与量测	58
一、眼睛和视觉	58
二、像对的立体观察	60
三、像对的立体量测	63
第四章 摄影测量作业理论	65
§ 4-1 影像内定向	65
§ 4-2 单像空间后方交会	66
一、基本原理	66
二、计算过程	70
三、空间后方交会的精度	71
§ 4-3 立体像对的相对定向	72
一、共面条件方程和相对定向方程式	72
二、相对方位元素的计算	81
§ 4-4 空间前方交会和模型坐标的计算	84

一、利用点投影系数的空间前方交会	84
二、利用共线方程的严格解法	88
§ 4-5 立体像对的绝对定向	89
一、基本原理	89
二、绝对定向元素的最小二乘解和重心化坐标的应用	92
三、绝对定向的计算过程	95
§ 4-6 空中三角测量	95
一、航带法空中三角测量	96
二、航带法区域网空中三角测量	97
三、独立模型法区域网空中三角测量	99
四、光束法区域网空中三角测量	100
五、三种区域网平差方法的比较	102
第五章 立体测图仪与立体坐标量测仪	104
§ 5-1 模拟立体测图仪	104
一、模拟立体测图仪的分类	104
二、多倍投影测图仪(多倍仪)	106
三、立体测图仪 B8S	108
§ 5-2 立体坐标量测仪	109
一、HCZ-1 型立体坐标量测仪	109
二、PSK-2 精密立体坐标量测仪	110
§ 5-3 解析测图仪	111
一、概述	111
二、解析测图仪的硬件	113
三、解析测图仪工作原理	113
四、解析测图仪的软件	116
五、四种解析测图仪简介	118
第六章 数字摄影测量	121
§ 6-1 特征提取	121
一、影像特征	121
二、点特征提取算子	121
三、线特征提取算子	122
§ 6-2 影像匹配	123
一、基本原理	124

二、数字影像匹配基本算法·····	127
三、基于物方的影像匹配·····	130
§ 6-3 数字地面模型·····	131
一、数字地面模型概述·····	131
二、数字地面模型数据的采集·····	132
三、数字地面模型数据的预处理·····	132
四、数字高程模型的内插方法·····	133
五、数字高程模型的应用·····	136
§ 6-4 数字微分纠正·····	138
一、数字微分纠正概述·····	138
二、反解法数字微分纠正·····	139
三、正解法数字微分纠正·····	140
§ 6-5 数字测图·····	141
一、地图矢量数据采集·····	142
二、矢量数据编辑·····	145
三、其他图形编辑功能·····	147
§ 6-6 数字摄影测量工作站·····	148
一、概述·····	148
二、组成与主要功能·····	148
三、作业方式·····	149
四、数字摄影测量工作站简介·····	149
参考文献·····	152

绪 论

摄影测量是利用摄影机或其他传感器采集被测对象的图像信息,经过加工处理和分析,获取有价值的可靠信息的理论和技术。摄影测量的创立和发展,已经有百余年的历史。百余年来,摄影测量作为一门技术科学,得到了广泛的应用。在技术方法上,随着光学、机械学、电子学、航空航天技术、电子计算机技术、图像技术等相关技术科学的发展,摄影测量也取得了非常迅速的发展。至今,摄影测量已经形成了许多分支,对这些分支可以从不同的角度加以分类。最常见的是按距离分类(如航天摄影测量、航空摄影测量、地面摄影测量、近景摄影测量)、按用途分类(如地形摄影测量、非地形摄影测量)和按技术方法分类(如模拟摄影测量、解析摄影测量、数字摄影测量)。

摄影测量的特点是对影像进行量测与解译等处理,无需接触物体本身,因而较少受到周围环境与条件的限制。被摄物体可以是固体、液体或气体;可以是静态或动态;也可以是遥远的、巨大的(宇宙天体与地球)或极近的、微小的(电子显微镜下的细胞)。按照成像距离的不同,摄影测量可分为航天摄影测量、航空摄影测量、地面摄影测量、近景摄影测量和显微摄影测量等。

地面摄影测量、航空摄影测量和航天摄影测量,主要用于测制地形图和建立相应的数据库,所以这三者也都属于地形摄影测量。近景摄影测量的摄影距离一般在 100 m 以内,主要用于工业建筑、文物考古、公安侦破、事故调查,以及弹道轨迹、落点定位、变形测量、矿山工程、生物医学等诸多非地形摄影测量任务中。由于两者有很强的对应性,所以也常称近景摄影测量为非地形摄影测量。按距离或按用途分类的每一种摄影测量,都是由一种或一种以上的按技术方法分类的摄影测量实现的。例如,航空摄影测量,既可以是模拟法的,也可以是解析法或数字法的。而按技术方法分类的每一种摄影测量,又都必然体现在按距离或按用途分类的多个摄影测量之中。如解析摄影测量,既可用于航空、航天摄影测量,也可用于地面和近景摄影测量等。

影像是客观物体或目标的真实反映,其信息丰富、形态逼真,可以从中提取所研究物体大量的几何信息与物理信息。因此,摄影测量可以广泛应用于各个方面。按照应用对象的不同,摄影测量可分为地形摄影测量与非地形摄影测量。地形摄影测量的主要任务是测绘各种比例尺的地形图及城镇、农业、林业、地质、交通、工程、资源与规划等部门需要的各种专题图,建立地形数据库,为各种地理信息系统提供三维的基础数据。非地形摄影测量用于工业、建筑、考古、医学、生物、体育、变形观测、事故调查、公安侦破与军事侦察等各方面,其对象与任务千差万别。但其主要方法与地形摄影测量一样,即从二维影像重建三维模型,在重建的三维模型上提取所需的各种信息。

传统的摄影测量三维模型重建也考虑物体表面纹理的表达,例如地面的正射影像就是地表的真实纹理,但在大多数的应用中,较少考虑物体表面纹理的表达。随着社会、经济与科技的发展,三维模型真实纹理的重建,在摄影测量的任务中变得非常重要。在一些应用中,需要利用不同的摄影方法完成真实纹理的重建,例如城市的三维建模,可能需要航空摄影与近景摄影相结合才能完成。

按技术方法划分出来的模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量,具有划分摄影测量

历史发展阶段的意义。

模拟摄影测量是用光学和机械方法模拟摄影时的几何模式,通过几何反转,由像片重建所摄物体的缩小了的几何模型,对该几何模型进行量测便可得到所需的图件,如地形原图。模拟摄影测量是最直观的一种摄影测量,也是延续时间最久的一种摄影测量。自从 1851 年至 1859 年法国陆军上校 Laussedat A 在巴黎试验用像片测制地形图获得成功,诞生了摄影测量以来,除最初的手工量测之外,这方面研究主要是致力于模拟解算的理论方法和设备的研究。在飞机发明以前,虽然借助气球和风筝也取得了空中拍摄的照片,但是并未形成真正的航空摄影测量。在飞机发明以后,特别是第一次世界大战格外加速了航空摄影测量事业的发展,模拟摄影测量的技术方法则经由地面摄影测量的发展而在航空摄影测量中臻于成熟。

在模拟摄影测量中,以硬拷贝像片作为处理的原始信息,利用光学机械模拟装置,实现了复杂的摄影测量解算,得到的是(或说主要是)模拟产品。在模拟摄影测量漫长的发展阶段中,摄影测量科技的发展可以说基本上是围绕着十分昂贵的立体测图仪进行的。20 世纪末,随着解析测图仪和数字摄影测量系统的发展,模拟仪器逐步被淘汰。

解析摄影测量是伴随电子计算机的出现和发展而发展起来的,始于 20 世纪 50 年代末,完成于 20 世纪 80 年代。解析摄影测量是依据像点与相应地面点间的数学关系,用电子计算机解算像点相应地面点的坐标并进行测图解算的技术。在解析摄影测量中利用少量的野外控制点加密测图用的控制点或其他用途的更加密集的控制点的工作,叫做解析空中三角测量。由电子计算机实施解算和控制并进行测图的工作则称之为解析测图,相应的仪器系统则是解析测图仪。解析空中三角测量也称为电算加密,电算加密和解析测图仪的出现,是摄影测量进入解析摄影测量阶段的重要标志。

在解析摄影测量中,仍然以硬拷贝像片作为处理的原始信息,但采用了数字投影方式,用精确的数字解算代替了精度较低的模拟解算。得到的是模拟产品和数字产品。由于在解析测图仪中引入了半自动化的机助作业,因此免除了定向的烦琐过程及测图过程中的许多手工作业。但仍然需要人用手去操纵(或指挥)仪器,同时用眼进行观测。因此,随着数字摄影测量系统的发展,解析测图仪已不再发展,并将逐步被淘汰。

20 世纪 60 年代中期,国际上开始了全数字摄影测量工作站的研究。1988 年由瑞士研制出第一台全数字摄影测量工作站,到 1992 年,国际上研制出了多台实用化的全数字摄影测量工作站,标志摄影测量进入了“数字摄影测量时代”。数字摄影测量是以数字影像为基础,用电子计算机进行分析和处理,确定被摄物体的形状、大小、空间位置及其性质的技术。它具有全数字的特点,对于像片可描述为一个二维的灰度矩阵,每个矩阵元素的行列序号代表它在像片上的位置,元素的值则是它的灰度。矩阵元素在像片上的面积是很小的,例如,只有 $13\mu\text{m}\times 13\mu\text{m}$ 、 $25\mu\text{m}\times 25\mu\text{m}$ 、 $50\mu\text{m}\times 50\mu\text{m}$ 等,称之为像元。数字影像可以由数字式传感器在摄影时直接获取,也可以通过对像片的数字化扫描获取。对已获取的数字影像进行预处理,使之适于判读与量测,然后在数字摄影测量系统中进行影像匹配和摄影测量处理,便可以得到各种数字成果,这些成果可以输出成图形、图像,也可以直接应用。数字摄影测量适用性很强,能处理航空影像、航天影像和近景摄影影像等各种资料,能为地图数据库的建立与更新提供数据,能用于制作数字地形模型、数字地图,以至用于巡航导弹的地形匹配系统,为指挥自动化提供测绘保障。

数字摄影测量采用了数字投影方式,得到的是数字产品,并可以模拟输出模拟产品。它

与模拟、解析摄影测量最大区别在于:它处理的原始信息是数字影像或数字化影像,最终是以计算机视觉代替人眼的立体观测,因而它所使用的仪器(硬件设备)最终将只是通用计算机及其相应的外部设备。

上述的按技术方法分类,标志着摄影测量发展的三个阶段,其基本的理论依据是共同的,就是摄影构像的数学模型。这个数学模型就是基于摄影时物点、物镜中心、像点这三点位于同一直线上,即共线条件。由此建立的方程则是共线方程或构像方程。对于一个立体像对(由不同摄影站摄取的,具有一定影像重叠的两张像片)则又可引申出能够表明内部和外部几何关系的数学模型。这些数学模型除基于共线条件外,还基于同名投影光线与基线(立体像对两摄影站的连线)应该共面,即共面条件。在上述技术方法中又具体构成了单像摄影测量和双像(立体)摄影测量的理论基础。

不难看出,无论是哪一种摄影测量技术方法,都必须以摄影为前提。通过摄影取得像片或数字图像,这便是摄影测量信息获取的基本手段。而要利用像片或数字图像确定地面点的地面坐标,则需要已知摄影机或其他传感器在摄影瞬间的位置和姿态,即确定像片的外方位元素。为了确定像片的外方位元素,又必须提供一定数量的、在像片上可准确识别的地面控制点,这个要求通常由外业的像片控制测量(又称像片联测)和空中三角测量(室内控制加密)工作来完成。像片控制测量可以在已有一定数量大地点基础上采用地形控制测量的方法获取少量必须的控制点(在有条件情况下也可以用 GPS 定位方法进行),空中三角测量则利用少量的外业实测的控制点确定全部影像的外方位元素,加密测图所需的控制点。在科学技术高度发展的今天,也可以通过 GPS 接收设备(对传感器定位)和惯性测量设备(测量传感器相对于地面的姿态角),获取摄影机或其他传感器在摄影瞬间的位置和姿态,从而在一定精度要求之下可以免去对地面已知点的要求。但目前的大量实际作业任务,仍然需要有足够的地面控制点来保证。

摄影测量中涉及的确定所摄目标性质的任务,要根据所摄不同目标的几何特征(形状、大小等)、物理特征(灰度、色调)、人文特征、关系特征等进行判定。这项工作可在内业条件下判绘一部分,但还要由外业的像片调绘来检查和补绘。由于军事测绘对成果真实准确程度的高要求,确定所摄景物性质以及数字信息的工作应该在现地进行或进行现地检验。

综上所述,摄影测量包括摄影、外业(像片联测和像片调绘)、内业(电算加密和各种测图方法)。但从教学的角度出发,这些内容将分属于不同的课程。本书将以航空摄影测量为例,讲述内业的基本理论、仪器和作业方法。

第一章 航空摄影简介

§ 1-1 航空摄影

一、航空摄影的分类

航空摄影是利用航空摄影机从飞机或其他航空器上获取地面或空中目标的图像信息的技术。它一般不受地理条件限制,能获取广大地域的高分辨率像片。航空摄影能为航空摄影测量提供影像等基础资料,广泛用于测绘地形图。在地质、水文、矿藏、森林等自然资源勘测,农业产量预估,大型厂矿和城镇规划,路线勘测和环境监测等方面也得到应用。

根据航空摄影的特点和测量对航摄像片的要求,航空摄影有两种分类方式。

(一)按像片倾斜角分类

过航摄机镜头后节点垂直于像面的光线称为主光轴。主光轴与像面的交点称为像主点。在航空摄影过程中,飞机不可能始终保持平稳的飞行状态,致使航摄机的主光轴偏离铅垂方向,主光轴与铅垂线之间的夹角称为像片倾斜角 α 。

像片倾斜角 $\alpha \leq 3^\circ$ 的航空摄影称为竖直航空摄影或近似垂直摄影,所摄取的像片为近似水平像片。目前航空摄影主要是这种类型。

像片倾斜角 $\alpha > 3^\circ$ 的航空摄影称为倾斜航空摄影,多用于军事目的,可在我方阵地一侧向敌方阵地进行拍摄,但测图困难,一般不采用。

(二)按航空摄影方式分类

根据不同用途或不同测图方式,前述的近似垂直航空摄影又可分为单片航空摄影、航线航空摄影和区域航空摄影。

单片航空摄影,又称独立地块航空摄影,可能并不只是一幅像片,但相邻像片之间一般没有重叠部分,主要用于军事侦察目的。

航线航空摄影,又称线状地带航空摄影,相邻像片有重叠,主要用于公路、铁路和输电线路的定线及江河流域的规划。

区域航空摄影,又称面积航空摄影,在规定高度上,在被摄区域内敷设多条航线,逐条摄影,像片在航向和旁向两个方向都有一定重叠部分。地形图测绘主要采用区域航空摄影。

二、航空摄影测量对航空像片及航空摄影的基本要求

航空摄影获取的航摄像片是航空摄影测量成图的原始依据。其质量关系到后期作业的难易和量测的精度,因此对航空像片质量及航空摄影的飞行质量均有严格要求。

航空像片的质量主要是指影像的构像质量和几何质量。航空摄影的飞行质量主要包括以下几方面。

(一)像片倾斜角

像片倾斜角应小于 3° 。像片倾斜角的概略值可由像片边缘的水准器影像中的气泡所处位置判读。对无水准器记录的像片,若发现可疑,可用摄影测量方法进行计算。

(二) 航摄比例尺与航高

像片比例尺定义为像片上的线段与地面上相应水平线段之比。公式如下

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{L} = \frac{f}{H} \quad (1-1)$$

式中, H 为相对于测区平均水平面的高度, 称为相对航高; f 为物镜中心至像面的垂距, 称为航摄机主距。

航摄比例尺的选定取决于测图比例尺, 大体与测图比例尺相当。在做航摄计划时, 选定了航摄机(即主距一定)和航摄比例尺以后, 相对航高可根据式(1-1)计算。飞机应按预定航高飞行, 其差异一般不得大于 5%, 同一航线内各摄影站的航高差不得大于 50 m。

(三) 像片重叠度

用于地形测量的航摄像片, 必须使影像覆盖整个测区, 而且能够进行立体测图, 相邻像片应有一定的重叠。同一条航线内相邻像片间的重叠影像称为航向重叠, 相邻航线间的重叠称为旁向重叠。重叠大小用像片的重叠部分与像片边长比值的百分数表示, 称为重叠度。见图 1-1。

航向重叠一般规定为 60%, 最小不得小于 53%, 最大不大于 75%; 旁向重叠一般规定为 30%, 最小不得小于 15%, 最大不大于 50%。重叠度小于最小限定值时, 称为航摄漏洞, 必须补飞补摄; 重叠度过大时, 将影响作业效率和提高作业成本。

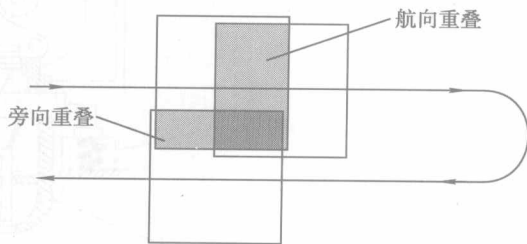


图 1-1 航向重叠与旁向重叠

(四) 航线弯曲度

把一条航线的航摄像片根据地物影像叠拼起来, 连接首尾像片主点成一直线, 同时量出其距离 L 。航线中各张像片的像主点若不在该直线上, 航线则呈曲线状, 称之为航线弯曲, 如图 1-2 所示。用其中偏离航线最大的主点距离 δ (称最大弯曲矢量) 与航线长度 L 之百分比表示, 称为航线弯曲度。航线弯曲度通常不得大于 3%。

$$\text{航线弯曲度} = \frac{\delta}{L} \cdot 100 \% \quad (1-2)$$

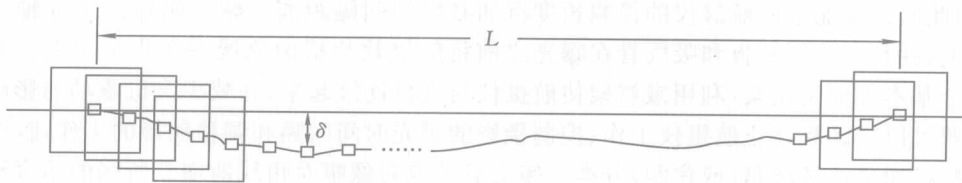


图 1-2 航线弯曲度

(五) 像片旋偏角

本航线中相邻像片主点的连线与同方向像片边框方向的夹角称为像片旋偏角, 见图 1-3。像片旋偏角一般不得大于 6° , 个别允许达到 10° 。

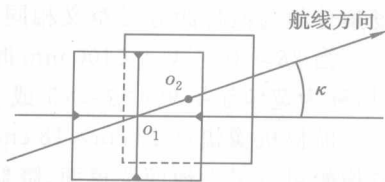


图 1-3 像片旋偏角

§ 1-2 胶片型航摄相机

胶片型相机是在感光胶片上记录影像信息的相机。摄影测量中使用的摄影机简称为航摄仪,除担负摄影任务外,还起着量测仪器的作用,是整个测量系统的一部分。

一、航摄仪的基本结构

图 1-4 为航摄仪基本结构示意图。

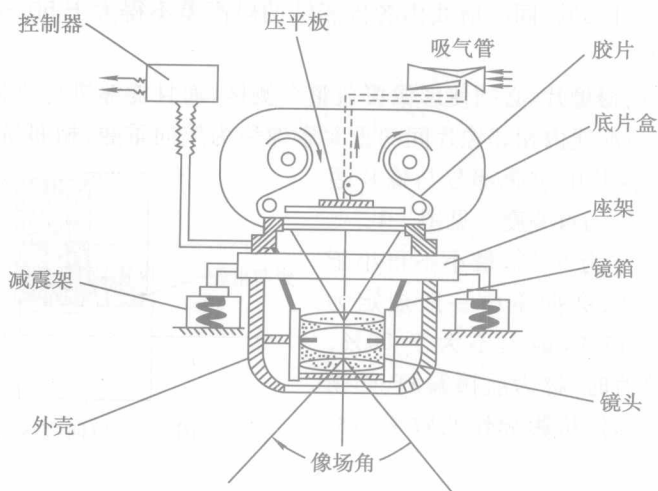


图 1-4 航摄仪基本结构示意图

航摄仪的主要部分是镜箱,它由外壳和镜筒构成,在物镜的焦面上有一附框,它带有 4 个框标记号,故又称为框标平面。在镜箱中通常设置着传动机构,可将航摄仪动力装置的动力传递给快门机构和暗盒机构,同时也作用在计数器上。现代航摄仪已采用脉冲电流和电磁开关来替代机械传动。在镜筒部分装置有镜头和快门,镜头前通常安置着滤光片,以减少大气濛雾对摄影质量的影响。底片盒也是航摄仪的一个重要部分。大多数现代航摄仪是利用软片感光材料,因此底片盒能按照航摄仪的像幅长度再加必要的间隔距离一幅一幅地由供片轴卷输到承片轴上,并且利用压平板和吸气管在曝光之前将航摄软片精确地展平在焦平面上。航摄仪的另一个基本部分是座架,利用减震架使航摄仪与飞机连接起来,并减少飞机震动的影响。应用控制器可以启动和终止航摄仪工作、控制摄影的曝光时间间隔和调整航摄的工作速度等。

航摄机通常按像场角(或焦距)分类。镜头后节点对像幅对角线两端点所张的角度称为像场角,一般以 2β 表示。当像幅一定时,焦距短则像场角大,焦距长则像场角小,故航摄机按像场角分类与按焦距分类意义相同。

当 $2\beta \geq 105^\circ$ 或 $f < 100 \text{ mm}$ 时,称为特宽角航摄机; $75^\circ \leq 2\beta < 105^\circ$ 或 $100 \text{ mm} \leq f < 160 \text{ mm}$ 时,称为宽角航摄机; $2\beta < 75^\circ$ 或 $f \geq 160 \text{ mm}$ 时,称为常角航摄机。

航摄机像幅有 $18 \text{ cm} \times 18 \text{ cm}$ 和 $23 \text{ cm} \times 23 \text{ cm}$ 两种,现代航摄机多为 $23 \text{ cm} \times 23 \text{ cm}$,较大的像幅可以增大地面覆盖面,降低成本,提高精度。

经典的胶片型航摄相机主要有瑞士徕卡公司的 RC 系列摄影机(如 RC-30),德国蔡司厂的 LMK 系列摄影机(如 LMK 2000)、RMK 系列的摄影机以及中国的 HS 2323 摄影机。

二、对航摄仪的基本要求

摄影像片是摄影测量中用以定位和测图的依据,因此对摄影仪的质量要求比普通摄影机高得多。总的要求是成像清晰、分解力高、透光力强、几何精度好、操作简便。特别是:

- (1)镜头质量要求分解力高、畸变小、透光力强、焦面照度分布均匀、光学影像反差能力大。
- (2)快门具有较宽的曝光时间变更范围和曝光系数。

(3)安放在飞机上的航摄仪应具有良好的减震作用,以防止由于飞机震动而引起影像模糊。

(4)要有精密的压平装置。测量用摄影机的像幅都比较大,如,13 cm×18 cm、18 cm×18 cm、23 cm×23 cm,从图 1-5 可以看出底片微小的不平 Δm ,除影像模糊外,还会造成影像移位 $\Delta l = \Delta m \cdot \tan\beta$, β 为光线与主光轴间夹角。显然越靠近像片边缘移位越大。

航空摄影机采用抽气压平和精密压平板,地面摄影机则使用玻璃感光干板。

- (5)要有精密的内方位元素和框标标志。

(6)要有完整的自动控制装置,特别是航空摄影,空中工作复杂、紧张、要求精确,没有一套自动控制装置是很难获得高质量的航摄像片的。

(7)应有足够的附加记录,如框标标志、压平标志、片号、时钟、摄影机内方位测定值、水准气泡等,为测量处理提供必要的技术参数。

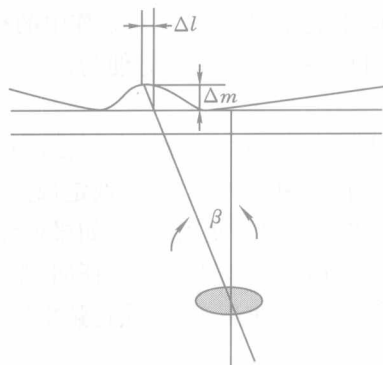


图 1-5 由底片不平造成的影像移位

§ 1-3 CCD 数字航摄相机

一、数字影像

影像可以分为两大类,一类是连续影像,另一类是数字影像。所谓连续影像,就是像面上的像点是连续的,相邻像点的灰度分布也是连续的。所谓数字影像,就是像点坐标和每个像点的灰度分布都是用离散数据表示的影像。普通像片(包括黑白像片和彩色像片)的像点是连续的,其灰度和颜色也是连续的,就是连续影像,也可称为模拟影像。而把模拟影像分割成同样形状的小单元,并把各小单元的平均亮度值或中心部分的亮度值转换成“灰度级”作为该单元的亮度等级值的影像就是数字影像。把模拟影像处理成数字影像的处理过程叫影像的数字化。在影像数字化过程中,把前一部分的空间离散化处理叫做采样,而把后一部分的亮度值的离散化处理叫做量化。所分割的小单元叫做像元或像素。

一幅连续的黑白影像可用一个二维连续函数 $g(x, y)$ 表示,其中, (x, y) 表示像点坐标, $g(x, y)$ 表示该像点的灰度值。因为影像的幅面是有限的,影像的灰度值是非负的,所以, $g(x, y)$ 是一个非负的有限函数。

在计算机影像处理中,因为计算机只能进行数字或逻辑运算,它只接收并处理数字影像,如果是连续影像,首先必须使它离散化,变成数字影像才能送入计算机中进行处理。因此,计

算机影像处理通常称为数字影像处理。

数字影像的像元一般为矩形(多数为正方形),在影像采样过程中,一幅影像就由固定间隔的水平线和垂直线划分形成方格网。当影像大小和像元大小都已知时,就可以根据像元在总行数(M)中的行序数(i)和在总列数(N)中的列序数(j)确定某像元的位置。影像的量化一般采用均匀量化方式,在影像量化过程中,在整个影像灰度范围内均匀划分灰度等级,使相邻灰度等级的数值增量为定值。当影像灰度值的取值范围和划分的灰度等级已知时,像元的灰度值就可用灰度值在总灰度等级(K)中的序号(k)来表示。概括起来,数字影像上只需 3 个整数值(像元的行号 i 、列号 j 、灰度值序号 k)就表示了函数在某一位置上的取值。数字影像通常用矩阵来表示(见式 1-3),矩阵中的每个元素,就是数字影像中的一个像元,这种表示形式在计算机中进行存取是很方便的。

$$\mathbf{F}_{M \times N} = [f(i, j)]_{M \times N} \quad (1-3)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$ 。

在影像采样过程中,选定像元大小是个很重要的问题。如果像元过大,影像信息损失就太大,将无法满足使用要求;如果像元过小,采样后得到的数据量就太大,将占用较大的存储空间和计算时间。理论上已经证明,如果连续影像函数 $g(x, y)$ 是一个有限带宽函数,在 x 和 y 方向的最高空间频率(即截止频率)分别为 f_{lx} 和 f_{ly} , 那么当采样间隔满足

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &\leq \frac{1}{2f_{lx}} \\ \Delta y &\leq \frac{1}{2f_{ly}} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

则根据采样数据可以恢复原影像函数,这就是著名的采样定理。在影像量化过程中,选定合适的灰度等级数 K 也很重要,为了适应计算机处理的需要,使影像灰度值便于用二进制表示,一般使 K 为 2 的整数幂。 K 的大小直接影响对原始影像的表达程度,黑白影像的 K 一般为 256。

数字影像有两个来源:一是将胶片相机获取的像片进行数字化转换,获得一个数字阵列,故称之为数字化影像;一是直接在任何存储器件上记录诸如 CCD 等光电元件获取的数字影像信息。

随着数字摄影技术的不断发展,电荷耦合器(Charge Coupled Device, CCD)正在取代传统的软片摄影和光导摄像技术而被广泛应用于航空航天遥感。电荷耦合元件固态阵列传感器的应用,使得数字摄影比常规摄影具有更高的分辨率和精度,且更加廉价,可以直接用于数字摄影测量处理。CCD 数字相机逐步取代传统胶片相机成为当前航空摄影测量发展的必然趋势。

一般来说,数字成像有两种解决方案:使用 CCD 线阵传感器或面阵传感器,线阵传感器以线扫描方式,依赖遥感平台的运动而构成影像;面阵传感器是在某一时刻一次成像,具有面中心投影的特性。下面介绍两种新型的数字航摄相机。

二、ADS40 数字成像系统

ADS40 是由 LH 公司(由瑞士徕卡公司和美国 HELAVA 公司共同组建)研制的 CCD 三线阵机载数字传感器,ADS40 数字成像系统主要由 4 部分组成,即相机主体、成像处理器、位置与姿态处理器和后处理软件包,如图 1-6 所示。

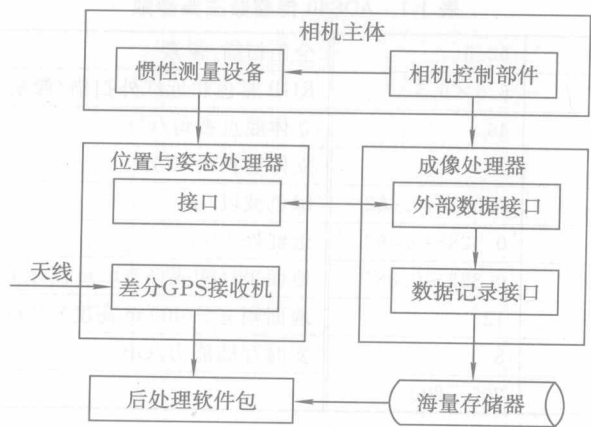


图 1-6 ADS40 数字成像系统

相机主体包括相机控制部件和惯性测量设备(IMU)。成像处理器包括外部数据接口,能够接收摄像机控制数据和姿态数据,数据记录接口记录影像数据并传送到海量存储器。位置与姿态处理器通过接口接收 IMU 的姿态参数和 DGPS 数据作为后处理的依据。后处理软件包是系统的重要组成部分,它根据海量存储器的影像数据和姿态与位置处理器的数据对影像进行逐行改正,消除在动态成像过程中的变形影响,构成完整的影像。图 1-7 中,(a)为原始影像,由于行扫描过程中,传感器在运动,因此造成了影像的变形,这种变形因为航空遥感平台比卫星遥感平台飞行高度低得多而严重得多,图中的直线地物表现为弯曲就是证明;(b)是经过变形改正后的影像,这种改正是根据原始影像的每一扫描行和相应的传感器位置与姿态数据完成的,改正后的影像,不仅消除了变形,而且具有很好的影像质量和立体量测特性。



图 1-7 ADS40 获取的航空影像

ADS40 传感器的主要技术参数列于表 1-1。